

УЧЕТ ДИНАМИЧЕСКОЙ ОШИБКИ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ДАЛЬНОСТИ ДО ИСТОЧНИКА РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ ПО КРИВИЗНЕ ФРОНТА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ВОЛНЫ

Якорнов Е. А., к. т. н., проф.; Цуканов О. Ф., к. т. н.,

Институт телекоммуникационных систем,

КПИ им. Игоря Сикорского, г. Киев, Украина

В работе [1] предложена методика определения дальности (r) до источника радиоизлучения (ИРИ) по кривизне фронта электромагнитной волны (ЭМВ) с помощью редко применяемого в радиоизмерениях параметра разности-разности фаз ($\Delta\Delta\phi$), в которой r определяется без учета ошибок измерений фазовых сдвигов между тремя приемными антеннами. Это позволяет использовать результаты работы [1] для определения эталонного значения r при решении задачи оценки дальности с учетом ошибок измерения $\Delta\Delta\phi$.

В патенте [2] предложена методика оценки кривизны фазового фронта ЭМВ $\alpha^* = 1/r^*$, с учетом ошибок измерения $\Delta\Delta\phi$ между M приемными антеннами. Оценку кривизны фазового фронта α^* получают полагая, что закон случайных фазовых флуктуаций $\bar{n}(L)$ гауссовский с нулевым средним и используя методику нахождения оценок по максимуму отношения правдоподобия [2].

Уравнение для оценки значения кривизны α^* получают в предположении, что изменения фазы ЭМВ в раскрыве линейной антенной решетки (АР) описывается полиномом второго порядка:

$$Y(L, \theta, r) = -k \cdot L \cdot \cos \theta + k \cdot (L^2/2 \cdot r) \cdot \sin^2 \theta + n(L), \quad (1)$$

где $k = 2\pi / \lambda$ — волновое число, λ — длина волны, L — ширина раскрыва АР, θ — пеленг на ИРИ (предполагается известным).

Использование модели измерений (1) позволяет записать полученное в [3] аналитическое выражение для оценки кривизны фазового фронта $\alpha^* = 1/r^*$ в следующем виде:

$$\hat{\alpha}^* = 1/r = \frac{15M^2 \sum_{i=1}^{M/2} i^2 \Delta\Delta\phi_i}{G \cdot L^2 (M/2)(M/2+1)(M+1) \left(3(M/2)^2 + 3(M/2) - 1 \right)}, \quad (2)$$

где $\Delta\Delta\phi_i = \phi_i - \phi_{-i}$ разность фаз между симметричными относительно центрального элементами АР, $G = k \cdot \sin^2 \theta / 2$.

Данное выражение позволяет минимизировать случайную ошибку измерения фазы, но динамическую ошибку (ошибку не соответствия используемой модели и реальными измерением фазы) не уменьшает. Попытка увеличения количества слагаемых в полиноме (1) приведет к необходимо-

сти расчета оценки $\hat{\alpha}^*$ численными итерационными методами что существенно усложнит практическую реализацию устройства [4]. Поэтому для оценки динамической ошибки при определении $\hat{\alpha}^*$ воспользуемся возможностями метода имитационного моделирования.

Для этого зададимся фазовыми сдвигами $\Delta\varphi_{-i}$ и $\Delta\varphi_i$, $i = \overline{1, M/2}$. Далее с помощью функции генерации случайных чисел с нормальным законом распределения, нулевым математическим ожиданием и заданной среднеквадратическим отклонением (СКО) $\sigma_\varphi = 3^\circ$ ошибки измерения фазометра сформируем входные сигналы, поступающие с приемных антенн в виде $\Delta\Delta\tilde{\varphi}_i = \Delta\Delta\varphi_i + N(\sigma_\varphi)$. Результаты моделирования представлены на рис. 1.

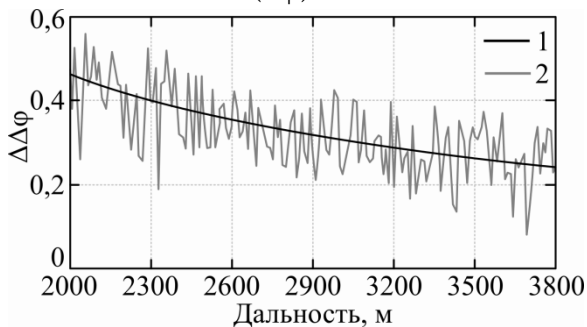


Рисунок 1. Зависимость $\Delta\Delta\varphi_i$ от r :

- 1 — $\Delta\Delta\varphi_i$ без шума;
2 — $\Delta\Delta\tilde{\varphi}_i$ фазовый сдвиг с шумом.

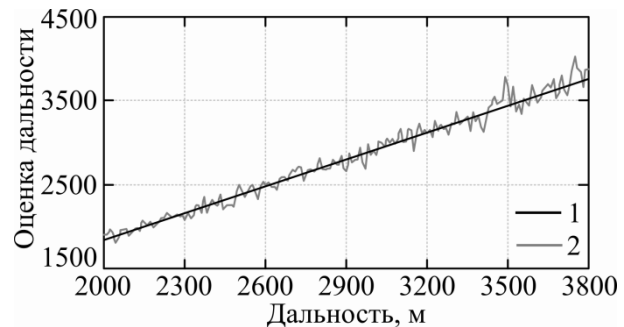


Рисунок 2. Статистическая зависимость оценки дальности \hat{r}_i для $\theta = 45^\circ$:

- 1 — измеренное значение r_i без шума;
2 — оценка измерения дальности \hat{r}_i .

Сигналы с выходов приемных антенн относительно центра суммируются в соответствии с выражением $\sum_{i=1}^{M/2} i^2 (\Delta\varphi_i - \Delta\varphi_{-i})$. Далее оценка дальности \hat{r}_i определяется в соответствии с (2).

Для определения статистической оценки \hat{r} используем метод Монте-Карло с числом реализаций равным 100. Среднеквадратическая ошибка оценки измерения \hat{r} дальности определяется выражением:

$$S_r = \frac{1}{k-1} \cdot \sum_{i=1}^k \sqrt{(\hat{r}_i - r_i)^2}, \quad (3)$$

где k — количество отсчетов, \hat{r}_i — оценка измерения дальности, \hat{r} — эталонное значение дальности.

На рис. 2 приведены зависимости оценки дальности \hat{r}_i и \hat{r} . Можно сделать вывод что, с ростом дальности увеличивается величина ошибки оценивания и кроме этого растет динамическая ошибка Δr . Динамическая ошибка Δr рассчитывается при нулевых значениях ошибок измерения фазы и в диапазоне изменения от пеленга θ . На рис. 3 приведена зависимость Δr от пеленга θ . С ростом θ увеличивается и динамическая ошибка. В работе предложен алгоритм динамической ошибки учета на основе метода наименьших

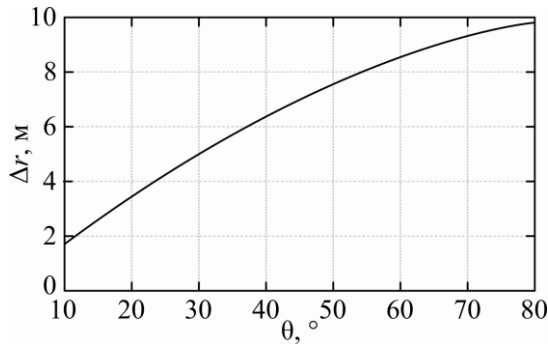


Рисунок 3. Зависимость Δr от θ .

квадратов, это повысит точность оценивания в сантиметровом диапазоне волн, в зависимости от величины θ пеленга на 3–10 метров.

Полученные результаты могут быть использованы при разработке аппаратуры многопозиционных систем и систем разнесенного приема для определения местоположения ИРИ с высокой точностью.

Перечень источников

1. Авдеев Г. Л. Определение местоположения источника излучения по кривизне фронта электромагнитной волны / Авдеев Г. Л., Федоров В. И., Якорнов Е. А. // Известия вузов. Радиоэлектроника. — 2008. — № 3. — с. 3–11.
2. Боровиков С. Г. Способ определения дальности до забрасываемого передатчика помех и устройство для его реализации / Боровиков С. Г., Ястребов Ю. В. // патент РФ RU2322681C2., 2008 г.
3. Кремер И. Я. Пространственно-временная обработка сигналов / Кремер И. Я., Кремер А. И., Петров В.М. и др.; под ред. Кремера И. Я. — М.: Радио и связь, 1984. — 224 с.
4. Гришин Ю. П. Радиотехнические системы: Учеб. для вузов по спец. «Радиотехника» / Гришин Ю. П., Ипатов В. П., Казаринов Ю.М. и др.; под ред. Казаринова Ю. М. — М.: Высш. шк. — 1990. — 496 с.

Аннотация

Предложена методика позволяющая повысить точность оценки дальности источника ИРИ по кривизне фазового фронта электромагнитной волны на основе определения динамической ошибки. Динамическая ошибка определяется по результатам имитационного моделирования в дальнейшем и учитывается при расчете оценки дальности.

Ключевые слова: оценка дальности, кривизна фазового фронта, динамическая ошибка.

Анотація

Запропоновано методику яка дозволяє підвищити точність оцінки дальності джерела ІРІ по кривизні фазового фронту електромагнітної хвилі на основі визначення динамічної помилки. Динамічна помилка визначається за результатами імітаційного моделювання в подальшому і враховується при розрахунку оцінки дальності.

Ключові слова: оцінка дальності, кривизна фазового фронту, динамічна помилка.

Abstract

The technique allows to improve the accuracy of estimation of Iran's power range from the curvature of the phase front of the electromagnetic wave on the basis of determining the dynamic error. The dynamic error is determined by the results of simulation in the future and taken into account when calculating the distance estimation.

Keywords: evaluation of the range, the curvature of the phase front, the dynamic error.